

触覚によるあらさ識別のメンタルモデルに関する研究

射手矢 優喜*, 久米 靖文**

Mental Model for Discrimination in Tactile Sense

Yuki ITEYA* and Yasufumi KUME**

This paper describes a mental model how to judge the ability of discrimination in tactile sense at fingertip for surface roughness. In this paper, it is found that some aspects of personality effects on the tactile ability of finger tip. The tactile ability of finger tip is evaluated by β index, reflecting the ability of discrimination for surface roughness sensitivity. Formation process for mental model to evaluate surface roughness by index finger tip is proposed.

Key Words: Mental model, Discrimination, Tactile sense, Finger tip

1. まえがき

感覚は、一般的に視覚や聴覚といった感覚受容器から大脳皮質感覚に対する活動の過程のことをいい、比較的生理レベルの情報処理に用いられる。

そして通常、我々が生活する中で視覚や聴覚と同じぐらい触覚が用いられる機会が多い。しかし、触覚による物体や物事の判断をする過程が明確でなく、未知の部分が多い。本研究は、指先でサンドペーパーに触れ、そのあらさを比較する過程で構築されているメンタルモデルを用いて触覚によるあらさの識別の認知過程を明らかにすることを目的とする。

2. メンタルモデル

メンタルモデルは、1983年に Johnson-Laird によって提案され、人間が心の中に作り上げる物体や概念の精神内でのモデルである¹⁾。人が A (概念や目

的) について知っている意味は A のモデル M が人の頭の中にある意味であり、そして人は A についての質問に答えるのに M が役に立つ限り M を A の良いモデルであると考え、モデルとは人が質問に答えられるのを助けるものである。こういうモデルを利用することによって、さまざまな質問に答えることができる。すべての人間はメンタルモデルを形成する能力をもっている。そのためには、経験や知識、さらに観察、分析、推測といった能力が必要である。メンタルモデルは個人差を生じるので、同じ対象でも作られるメンタルモデルは、人によって異なる。これは形成過程において情報収集に必要とされる経験や知識が個人に依存するからである。メンタルモデルにおいては、あらゆる感覚からの情報と一般的な知識からの情報を統合する必要がある。たとえば、音や匂いなど 5 感に関するものがある。いろいろな状況を思い描く能力には限界がないように思われる。しかし図書館に本を収容する容量に限界があるように、脳は記号を無限に保持することは出来ない。メンタルモデルを扱う広大な領域は、有限の手段によって構築しなくてはならない。つまり、原始的な記号とそれを操作する基本的過程によって

平成 17 年 6 月 11 日受理

* 総合理工学研究科 メカニクス系工学専攻

** 機械工学科

日本経営工学会秋季研究大会にて発表 (2004.10)

構築する。Fig.1はメンタルモデルの構築過程を示しており、新しい概念や目的についてのメンタルモデルを構築する際には、個々の過去の経験や知識に影響を受けながら知識の統合を行ってメンタルモデルが構築される。

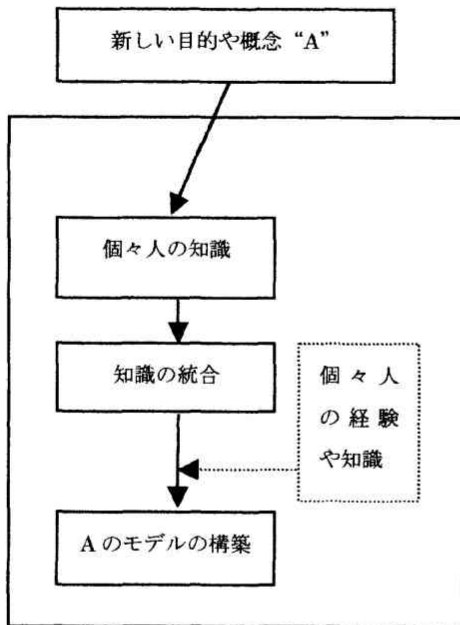


Fig. 1 Construction process of mental model

3. あらし識別のメンタルモデル

あらし識別のメンタルモデルをまとめたものがFig.2である。ME(magnitude estimation)法を用いてサンドペーパーのあらし識別を行う際のモデルを提案した。

まず指先でサンドペーパーに触れ、あらしが入力されて前に触ったサンドペーパーのあらしと比較される。人間が触覚によりあらしを識別する際には比率尺度が用いられるので、今触ったあらし、すなわち、作業記憶での大きさ X とひとつ前に触ったあらしすなわち作業記憶での大きさ Y との比率 A を求める。あらしの比率には過去の経験や知識などが影響 B を与え、あらしの比率の増幅 C に個人差が生まれる。そのあらしの比率 C をひとつ前のサンドペーパーの数値 D にかける事により、触ったサンドペーパーのあらしがひとつ前の何倍になっているかが分かります。サンドペーパーのあらしを数値で表すことができる。サンドペーパーの番数が同じ場合には、あらしの比較の段階で同じと判断し、ひとつ

前のサンドペーパーの数値 D と同じ数値 E で表す。

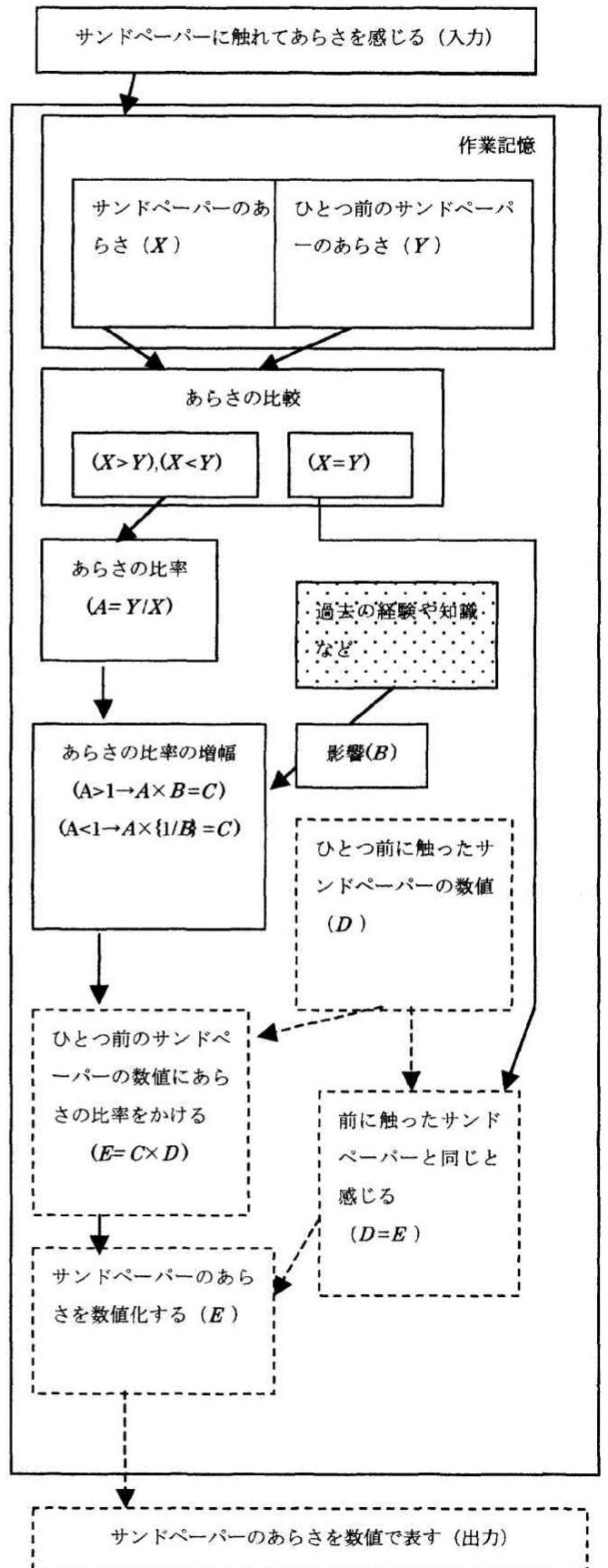


Fig. 2 Mental model for discrimination

4. メンタルモデルの検証

本章では、第3章で提案したあらさ識別のメンタルモデルをコンピュータプログラムを用いてシミュレーションを行い、被験者による実験結果との比較を行う。

4.1 サンドペーパーを用いたあらさ識別の実験方法

以下の手順で実験を行い、あらさ識別実験を行った。

- [1] JIS で規格された 5 種類のサンドペーパー (150 番, 180 番, 240 番, 320 番, 600 番) を各 5 枚ずつ (計 25 枚) 乱数を用いてランダムに並べる。
- [2] 並べたサンドペーパーを右手の人差し指で 1 枚ずつ触り、そのあらさを指先の触覚のみで判定する。判定の方法として、そのサンドペーパーのあらさを表すと思われる数字を自由に割り当てる。この数字を本論文では数値という。
- [3] 5 種類のサンドペーパーの各番数に対応する数値 5 個を幾何平均し、600 番のサンドペーパーの数値を 1 としたときの各サンドペーパーの比率を求める。これを本論文では数値の比率という。

以上のように実験を行う。被験者は 20 歳から 22 歳の大学生 100 名、一人 10 回ずつ実験を行った。

4.1.1 全被験者の実験値 (数値の比率)

Table 1 The ratio of numerical value (No.1-50)

被験者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
600番	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
320番	1.63	1.79	1.34	1.59	1.73	1.77	1.62	2.97	1.97	1.36
240番	1.66	2.05	1.66	1.80	2.04	1.76	1.69	3.78	2.36	1.50
180番	2.48	3.39	2.09	2.62	2.99	2.78	2.27	6.21	3.41	1.83
150番	2.51	3.38	2.43	2.69	2.95	2.67	2.29	6.21	4.20	1.87
被験者	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
600番	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
320番	1.54	2.05	2.22	1.90	1.32	2.24	1.64	2.15	2.08	2.18
240番	1.65	2.31	2.23	2.18	1.38	2.50	2.47	2.28	2.53	2.50
180番	2.16	5.23	3.68	3.41	1.69	5.23	3.47	4.52	4.08	4.67
150番	2.25	4.95	3.48	3.78	1.66	5.61	4.78	4.33	4.15	5.15
被験者	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
600番	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
320番	1.81	2.54	1.89	1.46	2.19	2.27	6.05	1.95	1.43	1.77
240番	2.05	2.78	1.95	1.66	2.74	2.44	5.38	2.17	1.52	2.32
180番	3.39	4.99	4.78	3.26	5.26	4.12	10.04	3.60	2.08	3.97
150番	3.29	5.45	4.09	3.17	5.73	4.43	9.20	3.49	2.18	3.93
被験者	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
600番	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
320番	2.35	1.74	2.51	1.17	1.66	1.60	1.39	1.86	1.35	5.92
240番	2.30	1.68	2.41	1.24	1.70	2.20	1.67	2.20	1.37	7.93
180番	4.56	2.87	4.59	1.46	2.53	2.68	2.26	3.67	2.14	15.71
150番	4.19	2.60	3.85	1.50	2.42	3.47	2.42	3.23	2.03	17.09
被験者	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
600番	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
320番	3.59	1.80	1.28	1.42	1.68	1.74	2.01	2.24	1.29	1.83
240番	4.49	1.96	1.32	1.40	1.85	1.98	3.34	2.58	1.30	1.90
180番	8.78	3.70	1.69	2.10	2.99	4.46	4.46	4.78	1.67	2.47
150番	9.62	3.83	1.70	2.07	3.01	4.19	5.93	5.02	1.57	2.52

Table1 と Table2 はあらさ識別実験での各被験者の数値の比率を示している

Table The ratio of numerical value (No.51-100)

被験者	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
600番	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
320番	2.26	1.18	1.04	2.21	1.16	2.12	1.26	1.08	2.56	2.93
240番	2.34	1.23	1.06	2.43	1.25	2.78	1.35	1.08	2.80	3.94
180番	3.55	1.36	1.32	4.18	1.45	4.99	1.63	1.24	6.22	7.41
150番	3.33	1.38	1.22	4.37	1.53	5.06	1.66	1.22	5.33	7.00
被験者	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
600番	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
320番	2.12	1.61	7.77	1.64	1.88	1.62	2.04	4.89	1.23	1.02
240番	2.14	1.66	9.29	2.47	2.18	1.58	2.25	6.44	1.39	1.07
180番	3.60	2.18	27.66	3.50	3.12	2.51	4.33	10.60	1.75	1.11
150番	3.58	2.25	25.42	4.78	3.04	2.47	4.01	10.39	1.83	1.11
被験者	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
600番	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
320番	5.19	1.21	2.70	1.95	1.92	1.08	1.73	1.63	1.24	1.20
240番	7.24	1.28	3.18	2.18	2.50	1.08	1.95	1.88	1.42	1.25
180番	29.59	1.45	4.13	3.61	2.86	1.17	2.59	2.53	1.76	1.39
150番	25.24	1.54	5.13	3.50	3.29	1.15	2.66	2.53	1.81	1.42
被験者	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
600番	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
320番	1.78	1.37	1.26	1.54	1.09	1.84	1.82	1.92	1.31	2.35
240番	2.08	1.63	1.36	1.77	1.74	1.98	2.50	2.91	1.76	2.89
180番	2.95	2.02	1.57	2.78	1.92	3.13	3.77	4.59	2.57	4.94
150番	3.27	2.21	1.56	2.49	2.48	3.16	4.37	6.61	2.24	4.97
被験者	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
600番	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
320番	2.27	1.91	4.23	2.36	2.08	1.53	1.16	1.47	1.74	2.39
240番	2.77	2.44	4.43	2.92	2.40	1.94	1.25	1.48	2.01	3.12
180番	5.23	4.23	7.98	4.87	4.17	3.20	1.42	2.13	2.81	5.51
150番	4.15	3.86	7.44	5.07	4.01	3.82	1.40	2.06	2.75	5.58

4.1.2 全被験者の実験値 (数値の比率の対数)

Table 3 と Table 4 はあらさ識別実験での各被験者での数値の比率の対数を示している。

Table 3 Logarithm of the ratio numerical value (No.1-50)

被験者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
600番	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320番	0.21	0.25	0.13	0.20	0.24	0.25	0.21	0.47	0.29	0.13
240番	0.22	0.31	0.22	0.26	0.31	0.25	0.23	0.58	0.37	0.18
180番	0.39	0.53	0.32	0.42	0.48	0.44	0.36	0.79	0.53	0.26
150番	0.40	0.53	0.38	0.43	0.47	0.43	0.36	0.79	0.62	0.27
被験者	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
600番	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320番	0.19	0.31	0.35	0.28	0.12	0.35	0.22	0.33	0.32	0.34
240番	0.22	0.36	0.35	0.34	0.14	0.40	0.39	0.36	0.40	0.40
180番	0.33	0.72	0.57	0.53	0.23	0.72	0.54	0.66	0.61	0.67
150番	0.35	0.69	0.54	0.58	0.22	0.75	0.66	0.64	0.62	0.71
被験者	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
600番	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320番	0.26	0.41	0.28	0.16	0.34	0.36	0.78	0.29	0.15	0.25
240番	0.31	0.44	0.29	0.22	0.44	0.39	0.73	0.34	0.18	0.36
180番	0.53	0.70	0.68	0.51	0.72	0.62	1.00	0.56	0.32	0.60
150番	0.52	0.74	0.61	0.50	0.76	0.65	0.96	0.54	0.34	0.59
被験者	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
600番	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320番	0.37	0.24	0.40	0.07	0.22	0.20	0.14	0.27	0.13	0.77
240番	0.36	0.23	0.38	0.09	0.23	0.34	0.22	0.34	0.14	0.90
180番	0.66	0.46	0.66	0.16	0.40	0.43	0.35	0.56	0.33	1.20
150番	0.62	0.45	0.59	0.18	0.38	0.54	0.38	0.51	0.31	1.23
被験者	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
600番	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320番	0.55	0.26	0.11	0.15	0.23	0.24	0.30	0.35	0.11	0.26
240番	0.65	0.29	0.12	0.15	0.27	0.30	0.52	0.41	0.11	0.28
180番	0.94	0.57	0.23	0.32	0.48	0.65	0.65	0.68	0.22	0.39
150番	0.98	0.58	0.23	0.32	0.48	0.62	0.77	0.70	0.20	0.40

Table 4 Logarithm of the ratio of numerical value (No.51-100)

被験者	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
600番	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320番	0.35	0.07	0.01	0.34	0.06	0.33	0.10	0.03	0.41	0.47
240番	0.37	0.09	0.02	0.39	0.10	0.44	0.13	0.04	0.45	0.60
180番	0.55	0.13	0.12	0.62	0.16	0.70	0.21	0.09	0.79	0.87
150番	0.52	0.14	0.09	0.64	0.18	0.70	0.22	0.09	0.73	0.84
被験者	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
600番	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320番	0.33	0.21	0.89	0.22	0.27	0.21	0.31	0.89	0.09	0.01
240番	0.33	0.22	0.97	0.39	0.34	0.20	0.35	0.81	0.14	0.03
180番	0.56	0.34	1.44	0.54	0.49	0.40	0.64	1.03	0.24	0.04
150番	0.55	0.35	1.41	0.68	0.48	0.39	0.60	1.02	0.26	0.05
被験者	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
600番	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320番	0.72	0.08	0.43	0.29	0.28	0.03	0.24	0.21	0.09	0.08
240番	0.86	0.11	0.50	0.34	0.40	0.03	0.29	0.27	0.15	0.10
180番	1.47	0.16	0.62	0.56	0.46	0.07	0.41	0.40	0.24	0.14
150番	1.40	0.19	0.71	0.54	0.52	0.06	0.42	0.40	0.26	0.15
被験者	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
600番	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320番	0.25	0.14	0.10	0.19	0.04	0.26	0.28	0.28	0.12	0.37
240番	0.32	0.21	0.14	0.25	0.24	0.30	0.40	0.46	0.25	0.46
180番	0.47	0.31	0.20	0.44	0.28	0.50	0.58	0.66	0.41	0.69
150番	0.51	0.34	0.19	0.40	0.39	0.50	0.64	0.82	0.35	0.70
被験者	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
600番	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320番	0.36	0.28	0.63	0.37	0.32	0.18	0.07	0.17	0.24	0.38
240番	0.44	0.39	0.65	0.46	0.38	0.29	0.10	0.17	0.30	0.48
180番	0.72	0.63	0.80	0.69	0.62	0.51	0.15	0.33	0.45	0.74
150番	0.62	0.59	0.87	0.71	0.60	0.58	0.15	0.31	0.44	0.75

4.2 シミュレーション値 (LISP)

提案したメンタルモデルを LISP 言語⁴⁾を用いてプログラミングしたものを以下に記す。

```
(SETQ Y ?)
(SETQ D 100)

(SETQ X ?)

(EQ X Y) →NIL or T

(SETQ Y (TIMES Y 100))
(SETQ E D)
(SETQ A (QUOTIENT Y X))
(SETQ B ?)
(SETQ C (TIMES A B))
(SETQ E (TIMES C D))
(SETQ E (QUOTIENT E 1000))
(SETQ Y (QUOTIENT Y 100))

(PRINT E)
(SETQ Y X)
(SETQ D E)
```

LISP プログラムを用いてシミュレーションを行い、25 枚分のサンドペーパーの数値を出力したものが以下の Table 5 である。

Table 5 Simulation result(LISP)

	1	2	3	4	5	数値の幾何平均	数値の比率
600番	25	24	24	22	20	22.93	1.00
320番	50	49	44	40	39	44.17	1.93
240番	62	61	57	49	49	55.31	2.41
180番	88	86	82	73	66	78.55	3.43
150番	96	93	85	83	83	87.83	3.83

4.3 全被験者の実験値との比較

LISP プログラミングにより出力されたシミュレーション結果と実験結果との比較を行う。

なお、サンドペーパーのあらさの物理量はサンドペーパーの番数の逆数を 1000 倍して対数をとったものであり、実験値の幅は標準偏差を表している。

Table 6 Comparison of a simulation value and an experiment value

物理量	サンドペーパーの番数の物理量	シミュレーション値		実験値(3σ内)			
		数値の比率	数値の比率の対数	数値の比率の幾何平均	数値の比率の対数の標準偏差	数値の比率の信頼区間(下限値)	数値の比率の信頼区間(上限値)
600番	0.23	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320番	0.49	1.92	0.28	0.20	0.14	0.14	0.27
240番	0.62	2.41	0.38	0.26	0.16	0.18	0.34
180番	0.75	3.43	0.53	0.43	0.23	0.34	0.52
150番	0.83	3.83	0.58	0.44	0.23	0.35	0.53

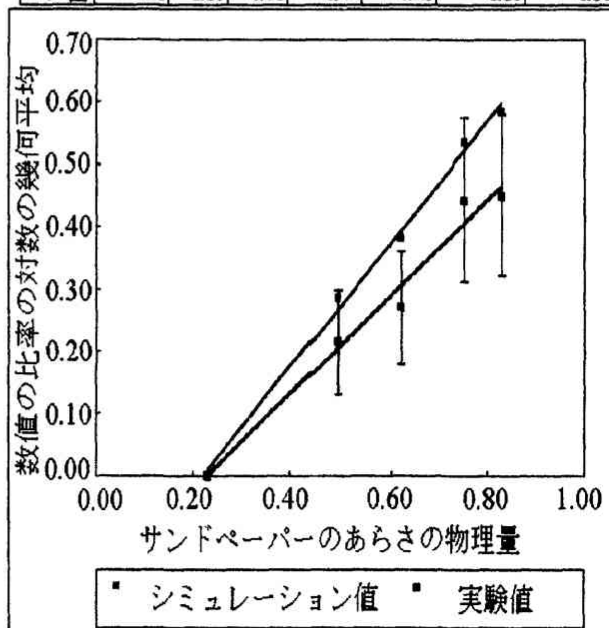


Fig. 3 Logarithm of the ratio of the numerical value of a simulation value, and logarithm of the numerical value of an experiment value

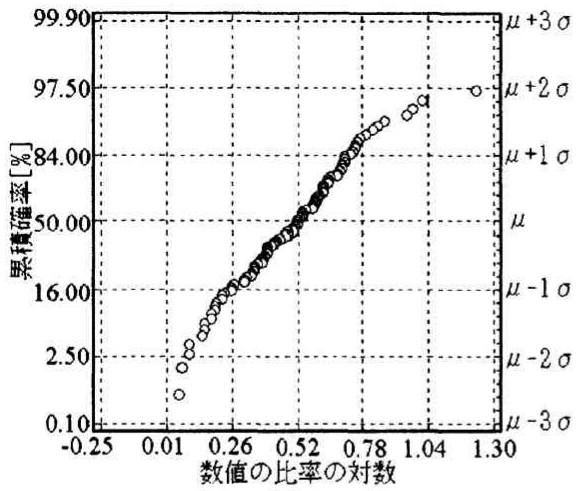


Fig. 4 Normal probability of the logarithm of ratio of numerical value (No.150)

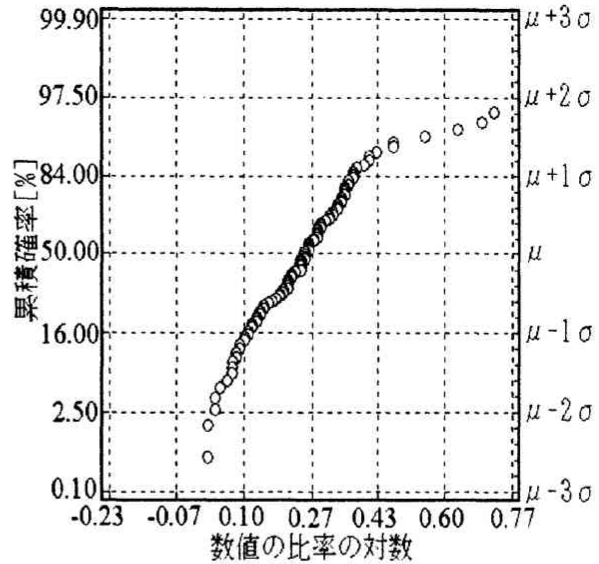


Fig. 7 Normal probability of the logarithm of ratio of numerical value (No.320)

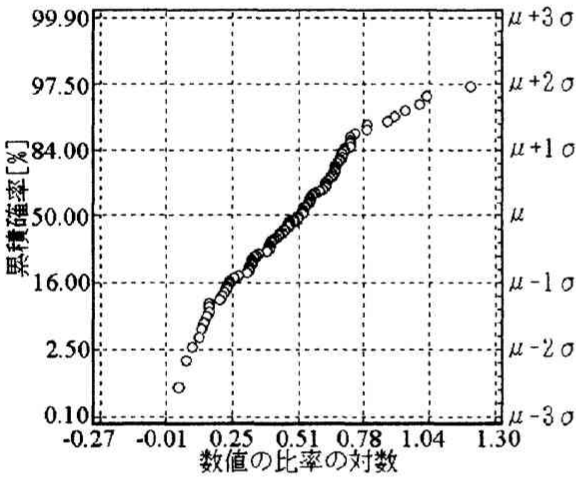


Fig. 5 Normal probability of the logarithm of ratio of numerical value (No.180)

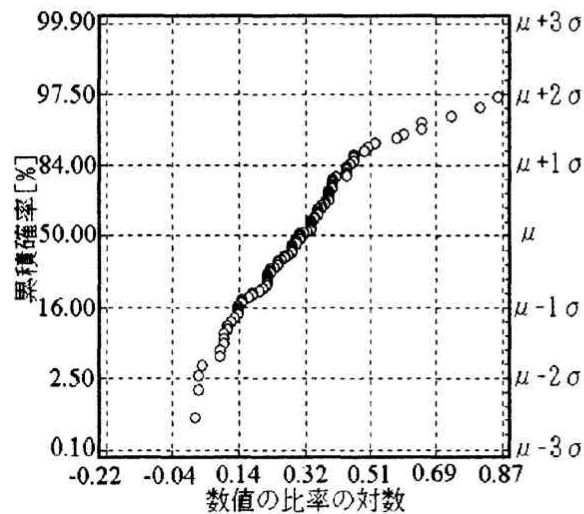


Fig. 6 Normal probability of the logarithm of ratio of numerical value (No.240)

4.4 被験者の実験値 (3σ内) との比較

Fig.4 から Fig.7 までの全被験者の正規確率プロットを見ると平均値から大幅に離れたデータが一部にみられるので、今回は 3σ内のデータのみを用いて評価を行った。3σ外のデータは 150番は被験者 63, 71番で、180番は被験者 63, 71番となり、240番は被験者 63, 40番で、320番は被験者 63, 27, 40番であった。

Table 7 Comparison of a simulation value and an experiment value (range of 3σ)

物理量		シミュレーション値		実験値(3σ内)			
サンドペーパーの番数	サンドペーパーのあらさの物理量	数値の比率	数値の比率の対数	数値の比率の対数の幾何平均	数値の比率の対数の標準偏差	数値の比率の95%信頼区界(下限値)	数値の比率の95%信頼区界(上限値)
600番	0.23	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320番	0.49	1.92	0.28	0.20	0.14	0.14	0.27
240番	0.62	2.41	0.38	0.26	0.16	0.18	0.34
180番	0.75	3.43	0.53	0.43	0.23	0.34	0.52
150番	0.83	3.83	0.58	0.44	0.23	0.35	0.53

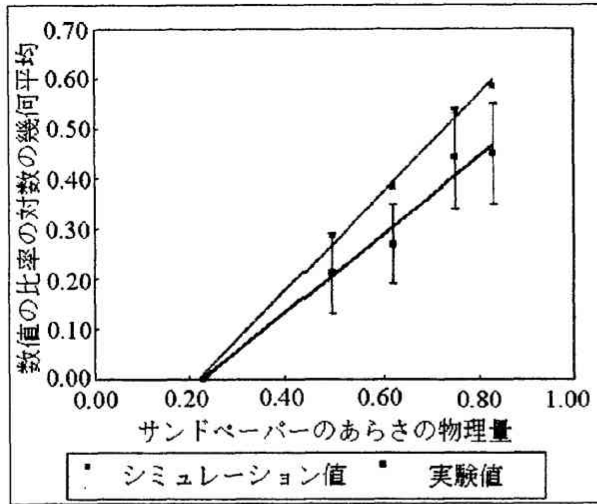


Fig. 8 Logarithm of the ratio of the numerical value of a simulation value, and logarithm of the ratio of the numerical value of an experiment value (range of 3σ)

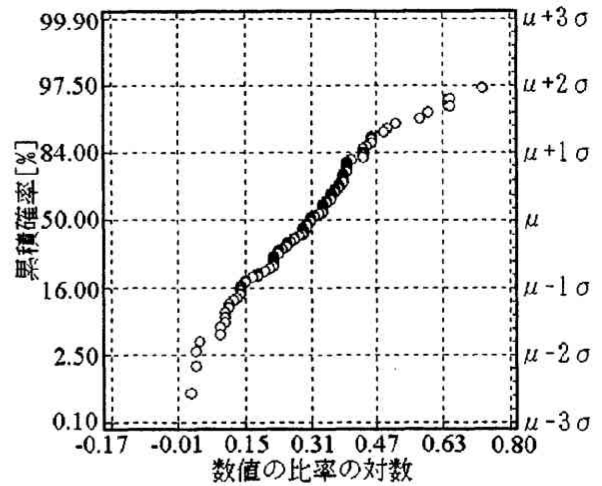


Fig. 11 Normal probability of the logarithm of ratio of numerical value (range of 3σ) (No.240)

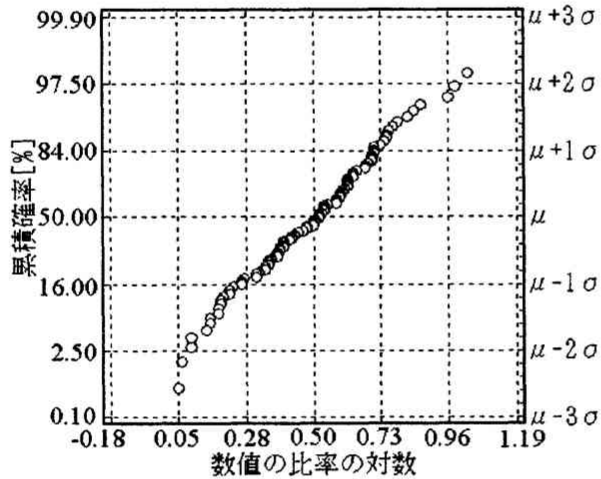


Fig. 9 Normal probability of the logarithm of ratio of numerical value (range of 3σ) (No.150)

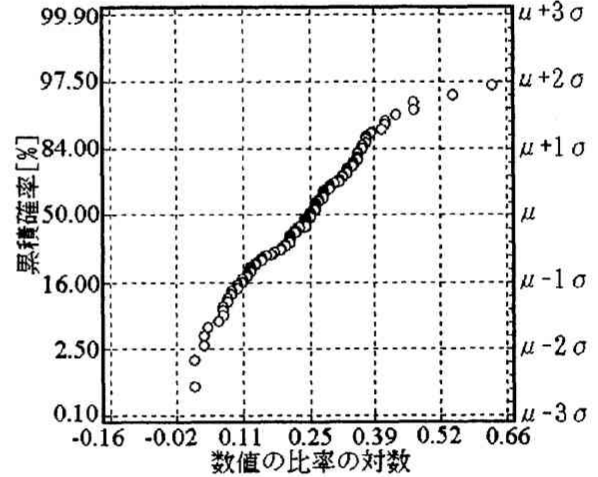


Fig. 12 Normal probability of the logarithm of ratio of numerical value (range of 3σ) (No.320)

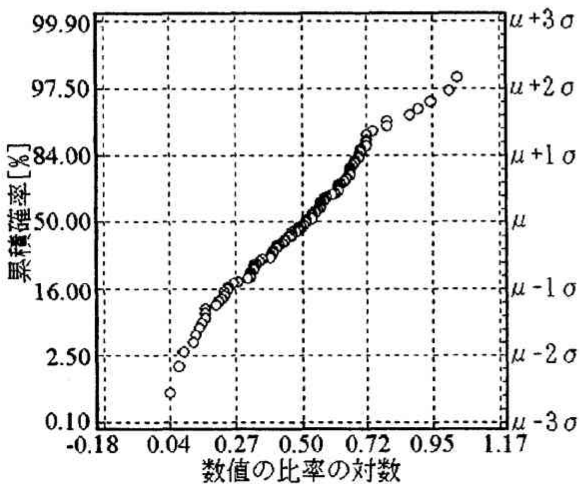


Fig. 10 Normal probability of the logarithm of ratio of numerical value (range of 3σ) (No.180)

4-5 シミュレーション値 (JAVA)

提案したモデルを JAVA 言語を用いてプログラム化したものを以下に記す。

```
public class sum41{
    static int 前の物理量 = 0, 前の感覚量 = 50,
    改行する = 0;
    static double 影響 = 0.8;
    public static void main(String[] args){
        int[] 今の物理量 = {
            180,320,320,240,600,150,240,180,320,320,150,
```

```
240,180,600,600,150,320,600,240,180,150,240,
150,180,600
};
```

```
前の物理量 = 今の物理量[0];
for(int i=1; i < 今の物理量.length; i++)
    sandcalc(今の物理量[i]);
}

/* 処理本体 */
public static void sandcalc(int 今の物理量){
    double 荒さの比;c;
    int 今の感覚量;
    if( 今の物理量 != 前の物理量){
        荒さの比 = (double)前の物理量
/(double)今の物理量;
        if(荒さの比>1.0){
            c = 荒さの比 * 影響;
            今の感覚量 = round(c * (double)
前の感覚量);
        }
        else{
            c = 荒さの比 * (1.0/影響);
            今の感覚量 = round(c * (double)
前の感覚量);
        }
        else{
            今の感覚量 = 前の感覚量;
        }
        System.out.print(" " + 今の感覚量+"
");
        改行する++;
        if(改行する > 1){
            System.out.println();
            改行する=0;
        }
        前の感覚量 = 今の感覚量;
        前の物理量 = 今の物理量;
    }

    /* 四捨五入 */
    public static int round(double value){
        int round_value = (int)(value + 0.5);
        return(round_value);
    }
}
```

JAVA プログラムを用いてシミュレーションを行い、25 枚分のサンドペーパーの数値を出力したものが

以下の Table 8 である。

Table 8 Simulation result(JAVA)

	1	2	3	4	5	数値の幾何平均	数値の比率
600番	12	12	12	12	12	12.00	1.00
320番	23	23	23	23	23	23.00	1.92
240番	31	30	30	30	30	30.20	2.52
180番	40	40	40	41	40	40.20	3.35
150番	50	49	49	49	49	49.79	4.07

4.6 実験値 (3σ内) との比較 (シミュレーションが1回の場合)

先ほどの被験者による実験値と JAVA のシミュレーション結果との比較が Table 9 と Fig.13 である。

Table 9 Comparison of a simulation value and an experiment value (range of 3σ)

物理量		シミュレーション値(500回)		実験値 (3σ内)			
サンドペーパーの番数	サンドペーパーのあらかの物理量	数値の比率	数値の比率の対数の幾何平均	数値の比率の対数の幾何平均	数値の比率の標準偏差	数値の比率の対数の95%信頼限界(下限値)	数値の比率の対数の95%信頼限界(上限値)
600番	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320番	0.49	0.27	0.00	0.20	0.14	0.14	0.27
240番	0.62	0.40	0.00	0.26	0.16	0.18	0.34
180番	0.75	0.52	0.00	0.43	0.23	0.34	0.52
150番	0.83	0.60	0.00	0.44	0.23	0.35	0.53

an experiment value (range of 3σ)

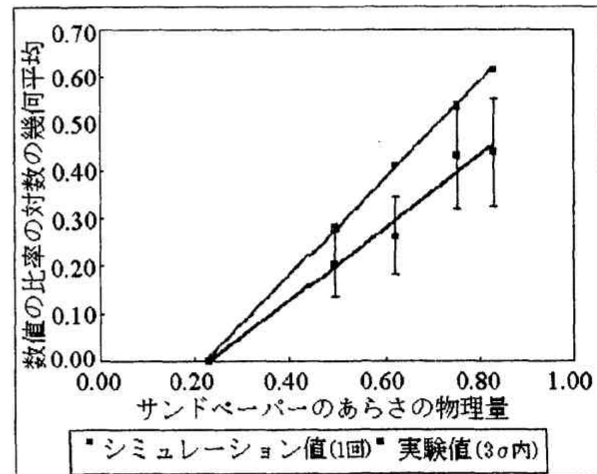


Fig.13 Logarithm of the ratio of the numerical value of a simulation value, and logarithm of the numerical value of an experiment value(range of 3σ)

4.7 シミュレーション回数ごとの幾何平均値の推移

入力値であるサンドペーパーの番数を乱数を用いてランダムな組み合わせを作って入力し、シミュレ

ーション回数を増やしていったときの数値の比率の対数の幾何平均および標準偏差を示す。

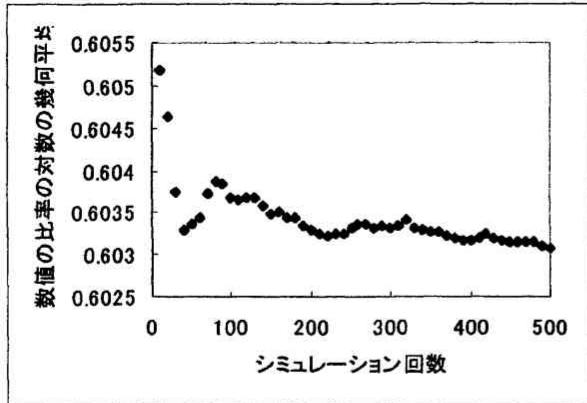


Fig.14 The geometric average of a simulation value (No.150)

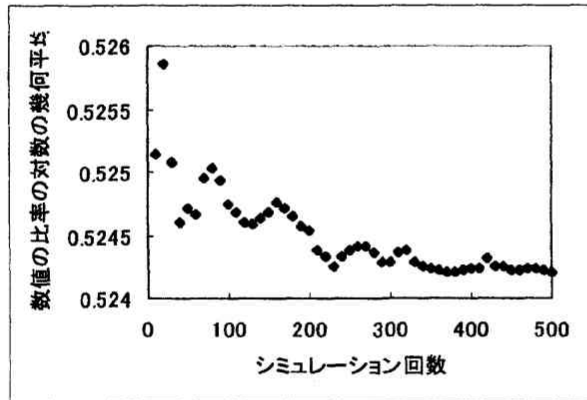


Fig.15 The geometric average of a simulation value (No.180)

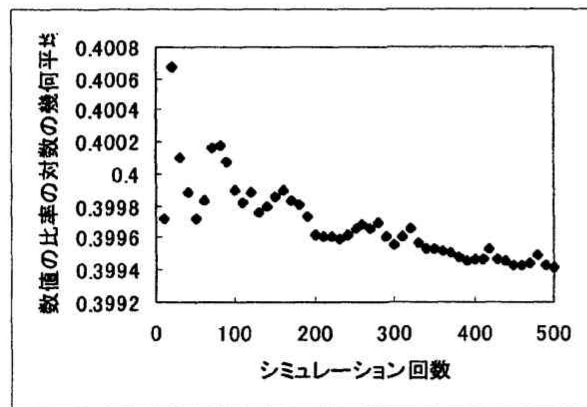


Fig.16 The geometric average of a simulation value (No.240)

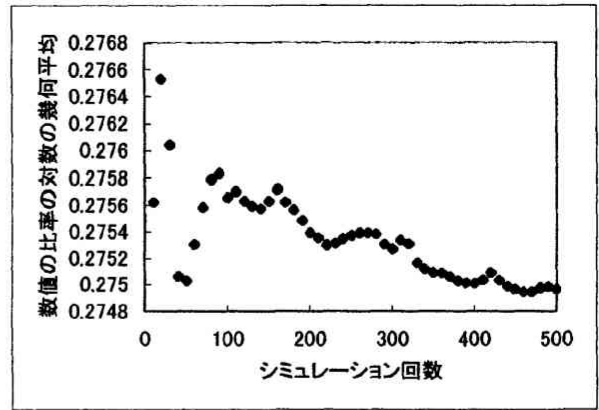


Fig.17 The geometric average of a simulation value (No.320)

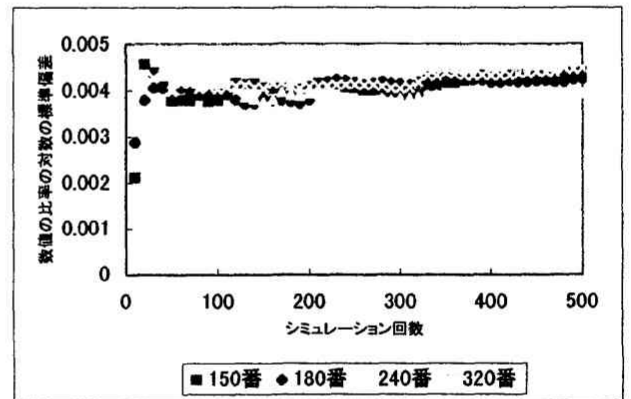


Fig.18 Standard deviation of a simulation value

4.8 実験値 (3σ内) との比較 (シミュレーションが500回の場合)

シミュレーションを500回行ったときの幾何平均値と実験値との比較を行う。

Table10 Comparison of a simulation value and an experiment value(range of 3σ)

物理量		シミュレーション値(500回)		実験値 (3σ内)			
サンドベンチの番数	サンドベンチのあらしの物理量	数値の比率	数値の比率の対数	数値の比率の対数の幾何平均	数値の比率の対数の標準偏差	数値の比率の対数の95%信頼限界(下限値)	数値の比率の対数の95%信頼限界(上限値)
600番	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320番	0.49	0.27	0.00	0.20	0.14	0.14	0.27
240番	0.62	0.40	0.00	0.26	0.16	0.18	0.34
180番	0.75	0.52	0.00	0.43	0.23	0.34	0.52
150番	0.83	0.60	0.00	0.44	0.23	0.35	0.53

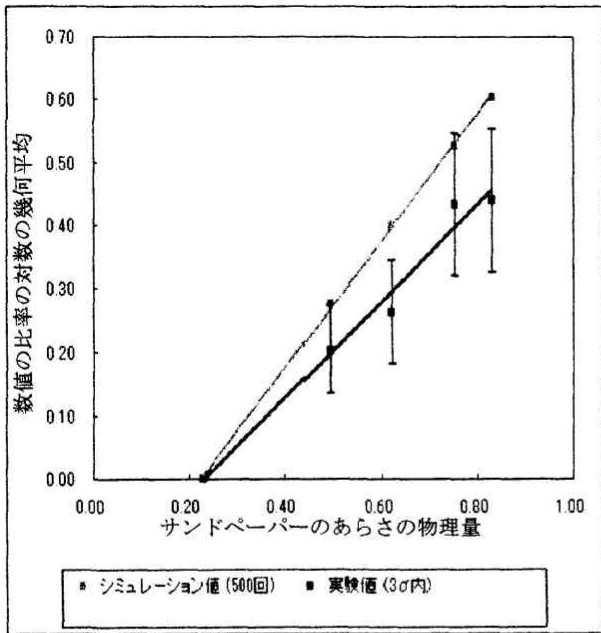


Fig.19 Logarithm of the ratio of the numerical value of a simulation value, and logarithm of the ratio of the numerical value of an experiment value(range of 3sigma)

5. 考察

Table 1 から Table 4 では全被験者の実験値を示しているが、一部の被験者の実験値に特異なデータがあったので、Table 7, Fig.8 では 3σ 内のデータのみを用いて実験値の幾何平均を求めた。Fig.8 で LISP 言語を用いたプログラミングによるシミュレーション値と実験値の比較を行うと、320 番、180 番のサンドペーパーを触ったときの数値の比率は近い値となっているが、240 番と 150 番を触ったときの数値の比率では差が比較的大きくなっている。実験値では 180 番と 150 番の数値の比率がほぼ同じとなっている。また、数値の比率の対数を用いて最小 2 乗法で傾きを求めると、シミュレーション値は 0.96、実験値は 0.77 となり、約 2 割強の違いが出ているが、両対数グラフでは実験値とシミュレーション値のどちらも直線的になることがわかった。また、Fig.8 の直線の傾きは識別能力を表し、シミュレーション値が最高の識別能力を示しているので、実験値がシミュレーション値に近づくほど識別能力が高いといえるので、提案したメンタルモデルが今回の実験結果と比較して有効であるといえる。

Fig.9 から Fig.12 で実験値のサンドペーパーごと

の数値の比率の対数の正規確率を示している。基本的に実験値のプロットが直線的になっているので正規分布の形をとっているといえるが、一部の被験者の実験値に特異な値が見られる。これはメンタルモデルの過去の経験などの長期記憶が数値の比率に影響を与え、個人差を生んでいるといえる。

Table 9, Fig.13 では JAVA 言語を用いたプログラミングによるシミュレーション結果を示しており、LISP 言語を用いたプログラミングによるシミュレーションよりもサンドペーパーごとのばらつきが小さい結果となっている。これは LISP 言語を用いたプログラミングではシミュレーションの過程で小数点以下を切り捨てることにより誤差が大きくなっていくためである。Fig.14 から Fig.17 ではシミュレーション回数を増やしたときの数値の比率の対数の幾何平均の推移を示しており、約 100 回まではばらつきが比較的大きくなるが、200 回を超えたあたりから徐々に収束してゆき、Fig.18 の標準偏差とともに幾何平均値も一定になることがわかる。

LISP 言語を用いたプログラミングによるシミュレーションと比較して JAVA 言語を用いたプログラミングによるシミュレーションでは、誤差による出力値のばらつきが比較的少ない。これは LISP 言語を用いたシミュレーションでは、言語の特性として少数計算ができないからである。また JAVA 言語はコンパイルを行い連続してシミュレーションを実行することが容易であることなどの利点があり、あらかし識別のメンタルモデルのシミュレーションを行なう場合は JAVA 言語を用いたプログラミングが適しているといえる。

6. 結論

1. 触覚によるあらかし識別を行う際のメンタルモデルを提案し、コンピュータによるシミュレーションモデルと被験者による実験値との比較を行った結果、構築したメンタルモデルの有効性が確認できた。
2. LISP 言語を用いたプログラミングによるシミュレーションと JAVA 言語を用いたプログラミングによるシミュレーションを行ったが、あらかし識別によるメンタルモデルのシミュレーションを行う場合には JAVA 言語を用いたプログラミングが適していることが明らかになった。

参考文献

- 1) K. Craik: *The Nature of Explanation*, Cambridge, Engl. : Cambridge University Press. (1943) pp.51-52
- 2) P. N. Johnson-Laird: *Mental Models*: in Michael I. Posner (Ed.), *Foundations of Cognitive Science*, The MIT Press (1990) pp.469-499
- 3) 田中良久: 心理学研究法 16 尺度構成: 東京大学出版会 (1973) pp.107-108
- 4) 山本博資ほか: パソコンによる LISP 入門: 森北出版 (1985) pp.1-60
- 5) R. F. Schmidt.: Somatovisceral sensibility. In R. F. Schmidt (ed.), *Fundamentals of sensory physiology*. (1986/1992) pp.31-67
- 6) 苧阪満里子: ワーキングメモリ: 新曜社 (2002) pp.6-16
- 7) 東山篤規ほか: 触覚と痛み: プレーン出版 (2000) pp.137-157
- 8) David Katz: 触覚の世界: 新曜社 (2003) pp.7-40
- 9) ISI Web of Knowledge (website) : <http://isi3.isiknowledge.com/portal.cgi>